

فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی
سال بیست و دوم، شماره ۷۱، پاییز ۱۳۹۳، صفحات ۱۷۲-۱۵۷

برآورد کشف جانشینی سرمایه و انرژی در بخش صنایع شیمیایی کشور

سیدعلی سبحانی ثابت

دانشجوی دکتری علوم اقتصادی دانشگاه امام صادق (ع) (نویسنده مسئول)
sobhanisabet@isu.ac.ir

داوود منظور

دانشیار اقتصاد دانشگاه امام صادق (ع)
manzoor@isu.ac.ir

در دنیای کنونی به دلیل مصرف زیاد حامل‌های انرژی و تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی به وسیله برخی از آنها مطالعه و بررسی متغیرهای مؤثر بر تقاضا و مصرف انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ ۴ نهاده‌ای (سرمایه، نیروی کار، انرژی الکتریکی و سایر حامل‌های انرژی) و برای داده‌های سری زمانی (۱۳۸۶-۱۳۷۷) سهم‌های هزینه‌ای برای نهاده‌های تولید برآورد می‌گردد، سپس از آنها برای محاسبه کشف‌های جانشینی قیمتی و متقاطع آلن و موریشما استفاده می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده از برآوردهای این پژوهش مقدار کشف قیمتی موریشما برای سرمایه و انرژی الکتریکی $1/588$ و کشف‌های قیمتی آلن برای دیگر حامل‌های انرژی برابر $0/698$ می‌باشد که هر دو بیانگر جانشین بودن نهاده سرمایه و انرژی در دوره مورد مطالعه است، همچنین مقدار کشف متقاطع قیمتی بین دو نهاده انرژی الکتریکی و سایر حامل‌های انرژی بجز انرژی الکتریکی برابر $(-1/363)$ بوده است که نشان می‌دهد این دو نهاده در دوره مورد بررسی مکمل یکدیگرند.

طبقه‌بندی JEL: C32, D24.

واژه‌های کلیدی: جانشینی سرمایه و انرژی، کشف آلن، کشف موریشما، سیستم معادلات همزمان.

۱. مقدمه

نهاد‌های تولید در فرایند یک فعالیت اقتصادی به صورت مکمل و جانشین برای تولید کالاها و خدمات مورد استفاده قرار گرفته و نوسان‌های قیمتی و میزان عرضه آنها ظرفیت‌های تولید بخش‌های مختلف اقتصاد را تحت تأثیر قرار می‌دهند. انرژی نیز یکی از نهاد‌های مهم تولید محسوب می‌شود که همراه با سایر نهادها مانند کار و سرمایه در فرایند تولید سهیم می‌باشد. با توجه به اینکه انرژی از عوامل تأثیرگذار در امنیت اقتصادی کشور ماست؛ مدیریت تقاضای انرژی می‌تواند اهمیت بسزایی در تأمین امنیت اقتصادی داشته باشد. اهمیت حیاتی انرژی در اقتصاد کلان کشور و ضرورت اعمال مدیریت کارآمد در این بخش ایجاب می‌کند تا تقاضای عوامل تولیدی به ویژه انرژی در بخش صنعت که از ارکان اساسی اقتصاد کشور است مطالعه شود.

یکی از مسائلی که در تحلیل تقاضای نهادها بسیار جذاب است و به آن توجه می‌شود این است که رابطه بین انرژی و سرمایه به صورت جانشینی یا مکملی است. اگر انرژی و سرمایه مکمل باشند می‌بایست برای صرفه‌جویی در هر یک از دو نهاد از هر دو نهاد کمتر استفاده کنیم. اگر این دو جانشین باشند بنگاه می‌تواند برای صرفه‌جویی یکی از نهادها دیگری را جایگزین آن نماید.

باید توجه داشت که اغلب منابع انرژی دارای منشأ فسیلی بوده و پایان‌پذیرند، بنابراین ویژگی اساسی پایان‌پذیری انرژی آن را از سایر نهاد‌های تولید متمایز می‌نماید و ضرورت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بررسی امکان جانشین نمودن سایر نهادها را با آن نمایان می‌سازد، اما از سوی دیگر وفور منابع انرژی در ایران و پایین بودن قیمت حامل‌های انرژی نسبت به بسیاری از کشورها می‌تواند به عنوان مزیت نسبی مطرح گردد. البته این مزیت زمانی مفید است که سبب کاهش هزینه‌های تولید و قیمت تمام‌شده و افزایش قدرت رقابتی کالاهای داخلی در بازارهای بین‌المللی شود، بنابراین آگاهی از متغیرهای مؤثر بر تقاضای انرژی و میزان تأثیر هر یک از متغیرها از یک سو در تبیین وضعیت بازار حامل‌های انرژی مؤثر بوده و از سوی دیگر نحوه ارتباط بازار انرژی با دیگر نهاد‌های تولید را ارائه می‌نماید، همچنین این امکان را به سیاستگذاران می‌دهد تا به برنامه‌ریزی و پیش‌بینی دقیق‌تری برای میزان تقاضای انرژی در بخش‌های مختلف کشور پردازند.

در این پژوهش جانشینی میان نهاد انرژی با سرمایه در بخش صنایع شیمیایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. صنایع شیمیایی از آن جهت انتخاب شده‌اند که اولاً از ارزش افزوده بالایی در کل صنعت برخوردار بوده و ثانیاً مطالعه جانشینی سرمایه و انرژی در یک صنعت خاص در مقابل کل صنایع کشور نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری را ارائه می‌دهد.

ترتیب مقاله حاضر به این شرح است که ابتدا به بررسی ادبیات موجود در خصوص جانشینی سرمایه و انرژی می‌پردازیم. در بخش بعدی مدل و تابع تقاضای مورد استفاده برای محاسبه کشتش‌های جانشینی قیمتی ارائه می‌گردد، سپس با بررسی داده‌های جمع‌آوری شده و محدودیت‌های آن کشتش‌های جانشینی قیمتی برآورد می‌شوند و در پایان نتایج به‌دست آمده مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

۲. ادبیات موضوع

با آغاز انقلاب صنعتی و شکل گرفتن صنایع ماشینی انرژی به‌عنوان یکی از عوامل اولیه و مهم تولید در صنایع شناخته شد. به تدریج با شکل‌گیری بخش صنعت و مدرنیزه شدن آن انرژی بیش از پیش اهمیت خود را در صنایع به اثبات رساند. تا پیش از دهه ۱۹۶۰ اغلب محققان توجه خود را به جانشینی بین صور مختلف انرژی معطوف می‌داشتند، اما پس از بحران انرژی دهه ۱۹۷۰ مطالعات فراوانی در خصوص جانشینی انرژی با دیگر نهاده‌ها انجام گرفت. به عبارت دیگر، پس از دوره بحران انرژی این مسئله عنوان شد که نهاده‌های انرژی در فرایند تولید می‌توانند جانشین سایر نهاده‌های تولیدی دیگر (مانند نیروی کار، سرمایه و غیره) شوند که در ذیل به بررسی اهم آنها می‌پردازیم (کوشل، ۲۰۰۰).

برندت و وود (۱۹۷۵) در تحقیقی که با استفاده از داده‌های سری زمانی بین سال‌های (۱۹۷۱-۱۹۴۷) و به کار بردن تابع ترانسلوگ^۱ برای ۴ نهاده سرمایه، نیروی کار، برق و سایر انرژی‌ها انجام دادند بین سرمایه و انرژی رابطه مکملی را مشاهده نمودند، همچنین در مطالعه دیگری که توسط هاندسون و یورگسون (۱۹۷۴) انجام شد نتایج مشابهی به دست آمد. آنها نیز از مدل ۴ نهاده‌ای و تابع ترانسلوگ استفاده نمودند. از دیگر مطالعاتی که به رابطه مکملی بین سرمایه و انرژی دست یافتند می‌توان به تحقیق فیلد و گرنشتاین (۱۹۸۰) اشاره نمود. آنها با بهره‌گیری از تابع هزینه ترانسلوگ^۲ که از سرمایه کاری^۲ به جای نهاده نیروی کار استفاده می‌نمود، همچنین به کارگیری داده‌های مقطعی برای ایالت‌های مختلف آمریکا رابطه قوی مکملی را بین سرمایه و انرژی به دست آوردند. پریوس (۱۹۸۶) نیز در تحقیق خود برای داده‌های مقطعی و سری زمانی (۱۹۷۵-۱۹۷۱) رابطه مکملی بین این دو نهاده کشف نموده و برخلاف دیگر مطالعات انجام شده که از تابع هزینه ترانسلوگ استفاده می‌کردند از تابع (CES) ۳ مرحله‌ای با ۴ نهاده (K, L, E, M) بهره برده است. در مقاله دیگری که توسط تیم (۱۹۷۹) نوشته شده است رابطه جانشینی میان نهاده سرمایه و انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله وی سعی نمود با ارائه تحلیل مبتنی بر فرض حداکثرسازی سود توسط بنگاه‌ها و تعادل عمومی به بیان رابطه جانشینی میان انرژی و

1. Translog
2. Working Capital

سرمایه پردازد که آن را به وسیله شواهد تجربی از داده‌های صنایع آمریکا در سال‌های (۱۹۷۷-۱۹۷۲) مورد تأیید و تأکید قرار می‌دهد.

مطالعات دیگری نیز وجود دارد که به رابطه جانشینی دست یافته‌اند. به عنوان مثال، گریفن و گریگوری (۱۹۷۶) با استفاده از تابع ترانسلوگ^۳ نهاده‌ای (KLE) نتیجه گرفتند که این دو با یکدیگر جانشین هستند.

در مطالعات جدیدتر سید اف محمود (۲۰۰۰) در مقاله‌ای تحت عنوان "تقاضای انرژی در بخش صنعت" با استفاده از تابع هزینه لئونتیف عمومی^۱ انرژی را در مدل به عنوان یک عامل تولید به صورت مستقیم مانند سرمایه و نیروی کار منظور می‌کند. در این مطالعه سرمایه به عنوان یک عامل شبه ثابت^۲ در نظر گرفته می‌شود. وی با تخمین مدل خود به این نتیجه دست می‌یابد که جانشینی بسیار کمی بین انرژی و عوامل دیگر تولید یعنی سرمایه و نیروی کار وجود دارد و به این دلیل وجود شوک‌های قیمتی انرژی باعث بالا رفتن هزینه کل به صورت معنادار می‌شود. تامپسون و همکاران (۱۹۹۷) نیز در مطالعه‌ای که در زمینه جانشینی سرمایه و انرژی در بخش صنعت یونان در دهه ۱۹۸۰ انجام داده‌اند به نتایج مشابهی دست یافتند و دریافته‌اند که یارانه‌های انرژی تقاضا برای سرمایه را کاهش می‌دهد.

از دیگر مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است مطالعه کریستوپولوس (۲۰۰۰) تحت عنوان "تقاضای انرژی در بخش صنعت یونان" می‌باشد. وی در مطالعه خود که از داده‌های سری زمانی بین سال‌های (۱۹۹۰-۱۹۷۰) استفاده نموده با بهره‌گیری از روش‌های اقتصادسنجی به بررسی رابطه جانشینی بین ۳ نوع از حامل‌های انرژی یعنی نفت خام، برق، گازوئیل و دیگر نهاده‌های تولید پرداخته است.

فنگک یی (۲۰۰۰) در مقاله‌ای تحت عنوان "مدل‌های دینامیکی تقاضای انرژی" به بررسی کشش‌های جانشینی قیمتی بین عوامل تولید یعنی نیروی کار، سرمایه، الکتريسيته و سوخت در بخش صنعت سوئد پرداخته است. وی با تقسیم صنعت به ۹ گروه صنعتی و با معرفی تابع هزینه ترانسلوگ^۳ و نیز تابع هزینه لئونتیف عمومی و با استفاده از لم شفارد این مسئله را در کوتاه مدت بررسی نموده است. نتایج بیانگر آن است که کشش‌های قیمتی در مدل لئونتیف عمومی برای بلندمدت یکسان است؛ اما قدر مطلق کشش‌های قیمتی محاسبه شده در مدل کوتاه مدت از مقدار آن در بلندمدت طبق انتظار کوچکتر است (شکيبايي و همکاران، ۱۳۸۸).

فیوریتو (۲۰۱۱) در مطالعه خود که بر اساس داده‌های بانک اطلاعاتی نهاده‌های تولید اروپا انجام داده است به رابطه مکملی یا جانشینی بسیار ضعیف می‌رسد که البته رابطه مکملی در کشورهای آلمان،

1. General Leontief
2. Quasi Fixed

اسپانیا و انگلیس بسیار قوی است. فیوریتو بر مبنای محاسبات به دست آمده نتیجه می‌گیرد که انرژی ارزان اما با عرضه کم منجر به کاهش استفاده از سرمایه و به تبع آن کاهش تولید می‌گردد.

در جدیدترین مطالعات انجام شده کریشناپیلای و تامپسون (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های مقطعی رابطه جانشینی و توابع تولید هموتتیک و غیرهموتتیک به تخمین کشتش‌های جانشینی قیمتی در بخش صنعت آمریکا پرداخته‌اند که با توجه به مقادیر کشتش متقاطع به دست آمده انرژی الکتریکی جانشین ضعیفی برای نیروی کار و سرمایه می‌باشد، در حالی که نیروی کار و سرمایه جانشین‌های قوی برای انرژی الکتریکی هستند. در ادامه، به بررسی برخی تحقیقات داخلی انجام شده می‌پردازیم.

باستان‌زاد (۱۳۷۶) در مقاله‌ای تحت عنوان "برآورد کشتش‌های جزئی مستقیم و متقاطع آلن برای حامل‌های انرژی در ایران طی سال‌های (۱۳۷۵-۱۳۴۷) به بررسی این کشتش‌ها از طریق برآورد سیستمی (معاملات همزمان)^۱ می‌پردازد. وی در مطالعه خود از انرژی، نیروی کار و سرمایه به عنوان عوامل تولید استفاده نموده و از تابع هزینه ترانسلوگ و لم شفارد برای به دست آوردن سیستم معادلات بهره برده است. کشتش‌های محاسبه شده در این تحقیق نشان‌دهنده وجود رابطه جانشینی بین نهاده‌های کار- سرمایه و کار- انرژی است؛ در حالی که انرژی و سرمایه دو عامل مکمل هستند.

اکبریان و رفیعی (۱۳۷۵) در پژوهش خود تحت عنوان "تخمین کشتش جانشینی سرمایه و نیروی کار صنایع ایران" به برآورد کشتش‌های جانشینی قیمتی بین سرمایه و نیروی کار پرداخته‌اند که مقادیر به دست آمده بیانگر وجود رابطه جانشینی ضعیف بین سرمایه و نیروی کار هستند که البته کشتش‌ها برای داده‌های مربوط به بلندمدت مقادیر بزرگتری را نشان می‌دهند.

شریفی و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی "جانشینی بین سرمایه و انرژی در بخش فلزات اساسی" با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ ۴ نهاده‌ای دریافتند بین سرمایه و انرژی در این زیربخش رابطه جانشینی وجود دارد.

شکیبایی و همکاران (۱۳۸۸) در مقاله‌ای تحت عنوان "تأثیر واقعی کردن قیمت انرژی بر کشتش‌پذیری تقاضای انرژی و برآورد کشتش جانشینی قیمتی نهاده انرژی در بخش صنعت در بلندمدت" به بررسی کشتش‌های جانشینی سرمایه و انرژی در دو سناریوی قیمت‌های فعلی و افزایش ۷۵ درصدی قیمت‌های انرژی می‌پردازند که در حالت دوم (افزایش ۷۵ درصدی قیمت‌ها) کشتش خود قیمتی تقاضا برای انرژی و تقاضا برای نهاده‌های دیگر به طور محسوسی کاهش می‌یابد.

شریفی و شاکری (۱۳۹۰) تحقیقی تحت عنوان "هدفمند کردن یارانه حامل‌های انرژی و تحلیل تقاضای پویای نهاده انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران" انجام دادند که در این تحقیق به منظور تحلیل

تقاضای نهاده‌ها از مدل‌های پویای نسل سوم استفاده شده است تا سرعت تعدیل سرمایه در صنایع کارخانه‌ای مشخص شود، همچنین با استفاده از فرم تابعی درجه دوم این نتیجه به دست می‌آید که حذف یارانه انرژی در کوتاه‌مدت تأثیر بسیاری در جهت کاهش تقاضای انرژی در صنایع خواهد داشت، اما در بلندمدت از شدت این تأثیر کاسته خواهد شد. علاوه بر این، نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که سرعت تعدیل موجودی سرمایه در صنایع کارخانه‌ای ایران بسیار پایین است.

۳. تصریح مدل

از آنجایی که تابع هزینه با کشش جانشینی ثابت (CES) در حالت بیش از دو نهاده از انعطاف‌پذیری لازم برخوردار نیست. در این تحقیق به پیروی از بیشتر تحقیقات پایه‌ای انجام شده در این زمینه تلاش می‌شود تا با بهره‌گیری از تابع هزینه ترانسلوگ و استفاده از لم شفارد تقاضا برای انرژی به‌عنوان یکی از نهاده‌های تولید استخراج شده و از این طریق کشش‌های مهمی مانند کشش آلفا، قیمتی متقاطع و موریشیما محاسبه شود (اوزاوا، ۱۹۶۲)، بنابراین تابع هزینه ترانسلوگ در حالت کلی و در بلندمدت به صورت زیر می‌باشد (چمبرز، ۱۹۸۸):

$$\ln c = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln p_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \ln p_i \ln p_j + \alpha_y \ln Y + \frac{1}{2} \alpha_{yy} (\ln y)^2 + \sum_{i=1}^3 \gamma_{iy} \ln p_i \ln Y \quad (1)$$

که در آن، C: هزینه کل، Y: تولید کل، P_i و P_j : قیمت عوامل تولید و Z_i : عوامل تولید هستند که در این تحقیق شامل سرمایه (K)، نیروی کار (L)، انرژی الکتریکی (E) و سایر انرژی‌ها (M) است. این تابع به دلیل همگن بودن و تقارن دارای قیودی به صورت زیر است:

$$\sum \alpha_i = 1, \beta_{ij} = \beta_{ji}, \sum_j \beta_{ij} = \sum_j \gamma_{iy} = 0 \rightarrow i, j = K, L, E, M \quad (2)$$

طبق لم شفارد مشتق تابع هزینه نسبت به قیمت عامل تولید با تقاضای مشروط آن عامل تولید برابر است، بنابراین برای محاسبه سهم هزینه‌ای هر یک از عوامل تولید به روش زیر عمل می‌کنیم:

$$s_i = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln p_i} = \frac{p_i}{C} \times \frac{\partial C}{\partial p_i} = \frac{p_i x_i}{C} = \alpha_i + \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \ln p_j + \gamma_{iy} \ln y \quad (3)$$

به گونه‌ای که:

$$\sum_{i=1}^n p_i x_i = C, \sum_{i=1}^n s_i = 1 \quad (4)$$

در صورتی که تابع تولید دارای ۴ عامل تولید باشد $Q=f(K, L, E, M)$ باشد معادلات سهم هزینه‌ای هر یک از عوامل تولید به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} S_K &= \alpha_K + \beta_{KK} \ln p_K + \beta_{KL} \ln p_L + \beta_{KE} \ln p_E + \beta_{KM} \ln p_M + \gamma_{KY} \ln Y \\ S_L &= \alpha_L + \beta_{LK} \ln p_K + \beta_{LL} \ln p_L + \beta_{LE} \ln p_E + \beta_{LM} \ln p_M + \gamma_{LY} \ln Y \\ S_E &= \alpha_E + \beta_{EK} \ln p_K + \beta_{EL} \ln p_L + \beta_{EE} \ln p_E + \beta_{EM} \ln p_M + \gamma_{EY} \ln Y \\ S_M &= \alpha_M + \beta_{MK} \ln p_K + \beta_{ML} \ln p_L + \beta_{ME} \ln p_E + \beta_{MM} \ln p_M + \gamma_{MY} \ln Y \end{aligned} \quad (5)$$

از آنجایی که سهم‌های هزینه دارای ویژگی خاص جمع‌پذیری^۱ ($\sum_{i=1}^n S_i = 1$) است، بنابراین n-1 معادله سهم هزینه از استقلال خطی برخوردار است، بنابراین برای رفع همبستگی معادلات تعداد آنها از ۴ به ۳ تقلیل یافته و به صورت زیر در می‌آیند:

$$\begin{aligned} S_K &= \alpha_K + \beta_{KK} \ln(p_K/p_M) + \beta_{KL} \ln(p_L/p_M) + \beta_{KE} \ln(p_E/p_M) + \gamma_{KY} \ln Y \\ S_L &= \alpha_L + \beta_{LK} \ln(p_K/p_M) + \beta_{LL} \ln(p_L/p_M) + \beta_{LE} \ln(p_E/p_M) + \gamma_{LY} \ln Y \\ S_E &= \alpha_E + \beta_{EK} \ln(p_K/p_M) + \beta_{EL} \ln(p_L/p_M) + \beta_{EE} \ln(p_E/p_M) + \gamma_{EY} \ln Y \end{aligned} \quad (6)$$

ضرایب دیگر نیز بر اساس قیود تقارن و جمع‌پذیری اعمال شده بر تابع هزینه به دست می‌آیند. راهی مناسب برای تفسیر رابطه جانشینی یا مکملی بین نهاده‌ها استفاده از کشتن جزئی جانشینی آلن (AES) می‌باشد که دو حالت خودی و متقاطع آن برای تابع هزینه عمومی به صورت زیر تعریف می‌شود (سورل، ۲۰۰۸):

$$AES_{ij} = (\beta_{ij} + S_i S_j) / S_i S_j = 1 + \beta_{ij} / S_i S_j \quad AES_{ii} = (\beta_{ij} + S_i(S_i - 1)) / S_i^2 \quad (7)$$

درصد تغییر در نسبت دو عامل i و j اثر تغییر در قیمت یکی از عوامل مفهوم مهم دیگر اقتصادی است که تحت عنوان کشتن قیمتی موریشیما (MES_{ij}) از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$MES_{ij} = \partial(\ln X_i / X_j) / \partial \ln P_j = (\beta_{ji} / S_i) - (\beta_{ij} / S_j) + 1 \rightarrow \text{for } i \neq j \quad (8)$$

درصد تغییر در تقاضای نهاد i به ازای یک درصد تغییر در قیمت نهاد j مفهوم کشش قیمتی متقاطع جانشینی است که با فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\eta_{ij} = \partial \ln X_i / \partial \ln P_j = (\beta_{ij} / S_i) + S_j \quad (9)$$

بر این اساس، در صورتی که کشش‌های جانشینی مطرح شده مثبت باشند دو نهاد با یکدیگر جانشین و در صورت منفی بودن آن دو نهاد با یکدیگر رابطه مکملی دارند که البته مقدار هر یک از کشش‌ها تحلیل خاص خود را دارد.

۴. جمع‌آوری اطلاعات

اغلب داده‌های به کار رفته در این پژوهش از مرکز آمار ایران و ترازنامه انرژی گرفته شده است. برای برآورد مدل از داده‌های مربوط به کارگاه‌های صنعتی دارای ۵۰ نفر کارکن و بیشتر در بخش صنایع شیمیایی برای سال‌های (۱۳۸۶-۱۳۷۷) استفاده می‌شود. قیمت نیروی کار برای هر سال از تقسیم کل پرداختی به نیروی کار بر تعداد شاغلان آن بخش محاسبه شده است، همچنین برای محاسبه قیمت برق میزان هزینه‌ای که برای این نهاد انجام شده است بر میزان مصرف آن طی یک سال تقسیم می‌گردد تا قیمت نهاد برق بر مبنای ریال / مگاژول به دست آید. قیمت سایر نهاده‌های انرژی نیز به صورت میانگین وزنی قیمت هر مگاژول انرژی حاصل از سوخت مربوطه محاسبه شده است. از آنجایی که گردآوری یا محاسبه قیمت‌های مواد اولیه مربوط به صنایع شیمیایی امکان‌پذیر نبود، بنابراین از ارزش افزوده (VA) به جای تولید (Y) استفاده می‌شود (شریفی و همکاران، ۱۳۸۸). هزینه کل نیز با توجه به فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

هزینه کل (C) = هزینه انرژی + ارزش افزوده

برای محاسبه قیمت نهاد سرمایه نیز از روش زیر استفاده می‌گردد (کریستوپولس، ۲۰۰۰):

$$P_K = \frac{VA - (W+S)}{NFC} \quad (10)$$

به گونه‌ای که VA: ارزش افزوده، W: دستمزد، S: حقوق و NFC: موجودی سرمایه را نشان می‌دهند، اما از آنجایی که موجودی سرمایه نیز در دسترس نبود برای محاسبه آن با روشی که در پی می‌آید عمل می‌کنیم. در داده‌های مرکز آمار ایران خالص سرمایه‌گذاری سالانه صنایع شیمیایی ایران موجود است. از آنجایی که این متغیر یک متغیر جریانی^۱ است با داشتن مقدار موجودی سرمایه در سال پایه و نرخ رشد سرمایه‌گذاری می‌توان آن را به یک متغیر انباره‌ای^۲ تبدیل نمود، بنابراین در حالتی که سرمایه‌گذاری خالص با نرخ λ رشد کند معادله رشد آن عبارتست از:

$$I_t = I_0 e^{\lambda t} \quad (11)$$

که در آن، I_t نمایانگر خالص سرمایه‌گذاری در سال t و I نماد خالص سرمایه‌گذاری در سال پایه و λ نرخ رشد سرمایه‌گذاری است، در نتیجه موجودی سرمایه در سال پایه نیز با روش زیر محاسبه می‌شود:

$$K_t = \int I_t dt = I_0 \frac{e^{\lambda t} - 1}{\lambda} \quad (12)$$

از آنجایی که در سال پایه $t=0$ در نظر گرفته می‌شود مقدار سرمایه اولیه به صورت زیر در می‌آید:

$$K_0 = \frac{I_0}{\lambda} \quad (13)$$

بنابراین با داشتن نرخ رشد سرمایه‌گذاری خالص (۷) می‌توان سرمایه سال پایه را به دست آورد و به وسیله آن موجودی سرمایه در سال‌های بعد را محاسبه نمود. با توجه به داده‌های مورد استفاده نرخ رشد سرمایه‌گذاری خالص در صنایع شیمیایی $\lambda=0.34$ به دست می‌آید و سرمایه‌گذاری در سال‌های بعد از فرمول زیر به محاسبه می‌شود:

$$K_t = K_{t-1} + I_t - \delta(K_t) \rightarrow (1+\delta)K_t = K_{t-1} + I_t \rightarrow K_t = \frac{K_{t-1} + I_t}{(1+\delta)} \quad (14)$$

که در اینجا نرخ استهلاك همانند بسیاری از پژوهش‌های دیگر ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود (زرآءزاد، ۱۳۸۴ و شریفی و همکاران، ۱۳۸۸).

1. Flow Variable
2. Stock Variable

۵. برآورد مدل و محاسبه کشش‌های قیمتی

برای برآورد معادلات می‌بایست قیود تقارن و همگنی مورد آزمون قرار گیرند. برای این کار ابتدا معادلات به صورت نامقید برآورد می‌شوند. نتایج آزمون‌های فوق در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج آزمون‌های همگنی و جمع‌پذیری

فرضیه صفر	درجه آزادی	آماره	Probability	نتیجه آزمون
همگنی	۳	۰/۰۱۶۸۵	۱	فرضیه صفر رد نمی‌شود.
قیود تقارن	۳	۲/۸۵۲۵۲۶	۰/۴۱۴۹	فرضیه صفر رد نمی‌شود.

مأخذ: نتایج تحقیق.

بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون‌های همگنی و تقارن معادلات سهم هزینه دارای خاصیت همگنی و تقارن بوده و این قیود در معادلات می‌توانند اعمال شوند، از آنجایی که معادلات سهم هزینه دارای خاصیت همزمانی هستند، بنابراین برای برآورد ۳ معادله سهم هزینه از سیستم معادلات همزمان و با روش حداقل مربعات سه مرحله‌ای^۱ استفاده می‌شود و ضرایب معادله ۴ به وسیله قیود جمع‌پذیری و تقارن اعمال شده بر تابع هزینه محاسبه می‌شوند، همچنین برای برطرف شدن اثر تورم در قیمت نهاده‌ها قیمت‌ها بر مبنای سال پایه ۱۳۸۳ تعدیل شده‌اند. جدول (۲) نتایج حاصل از برآورد مدل را ارائه می‌دهد.

جدول ۲. نتایج حاصل از برآورد پارامترهای مدل

پارامتر	ضریب	انحراف معیار	t-Statistic	Prob.
KK	β_{11}	۰/۰۳۲۵	۷/۱۱۷۹	۰/۰۰۰۰
KL	β_{12}	-۰/۰۲۶۲	-۷/۶۳۱۲	۰/۰۰۰۰
KE	β_{13}	-۰/۰۰۷۹	-۴/۳۱۲۶	۰/۰۰۰۴
KM	β_{14}	-۰/۰۰۳۴	----	----
LL	β_{22}	۰/۰۲۳۸	۴/۹۸۳۸	۰/۰۰۰۱
LE	β_{23}	۰/۰۰۲۷	۰/۶۵۵۹	۰/۵۲۰۲
LM	β_{24}	۰/۰۰۸۴	----	----
EE	β_{33}	-۰/۰۰۶۲	-۱/۱۹۰۰	۰/۲۴۹۵
EM	β_{34}	-۰/۰۱۴۳	----	----
MM	β_{44}	۰/۰۰۹۴	----	----
YK	γ_{V1}	۰/۰۶۱۲	۷/۹۸۴۰	۰/۰۰۰۰
YL	γ_{V2}	-۰/۰۵۲۲	-۸/۲۶۸۴	۰/۰۰۰۰
YE	γ_{V3}	۰/۰۰۴۰	۱/۳۳۲۴	۰/۱۹۹۴
YM	γ_{V4}	-۰/۰۰۹۳	----	----

مأخذ: نتایج تحقیق.

1. Three-Stage Least Squares

بر مبنای ضرایب به دست آمده کسش های جانشینی قیمتی به صورت زیر به محاسبه می شوند. لازم به یاد آوری است که سهم هزینه های نهاده های تولید به صورت میانگین سهم های هزینه ای سالانه برای هر یک از نهاده ها لحاظ شده است:

جدول ۳. کسش های جانشینی قیمتی آلن

M	E	L	K	AES _{ij}
۰/۶۹۸	۰/۱۲۶	۰/۰۰۹	-۰/۰۸۶	K
۶/۶۵۲	۳/۳۱۲	-۵/۹۶۸		L
-۱۰۴/۰۴	-۱۵۲/۴۴			E
-۲۰/۸۵۴				M

مأخذ: نتایج تحقیق.

جدول ۴. کسش های خودی و متقاطع قیمتی

M	E	L	K	η_{ij}
۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۸۳	-۰/۰۹۹	K
۰/۰۸۷	۰/۰۳۴	-۰/۶۷۶	۰/۶۳۲	L
-۱/۳۶۳	-۱/۵۸۶	۰/۳۷۵	۰/۱۰۹	E
-۰/۲۷۳	-۱/۰۸۳	۰/۷۵۴	۰/۶۰۳	M

مأخذ: نتایج تحقیق.

همانگونه که در نتایج به دست آمده مشاهده می شود کسش های جانشینی قیمتی آلن برای نهاده سرمایه و حامل های انرژی بجز انرژی الکتریکی (۰/۶۹۸) می باشد که مثبت بوده و نشان دهنده رابطه جانشینی میان این دو نهاده است، همچنین مثبت بودن مقدار کسش جانشینی آلن برای انرژی الکتریکی نیز حاکی از جانشین بودن سرمایه و این نوع از حامل های انرژی می باشد. مقدار کسش محاسبه شده برای رابطه بین انرژی الکتریکی و دیگر حامل های انرژی عدد بزرگ (-۱۰۴/۴) که منفی بوده و رابطه مکملی را بین این دو نهاده نشان می دهد. به عبارت دیگر، بر خلاف تصور عمومی نه تنها برق با دیگر حامل های انرژی نمی تواند جانشین شود و نبود آن را جبران نماید، بلکه افزایش قیمت یکی تقاضای دیگری را کاهش می دهد. جانشینی میان نهاده نیروی کار و حامل های انرژی اعم از انرژی الکتریکی و دیگر حامل های انرژی درخور توجه است. سهم محدود حامل های انرژی در مقابل سهم هزینه ای بالای سرمایه در طول زمان زمینه مساعدی را برای جانشینی بین نیروی کار و نهاده انرژی به وجود آورده است. از دیگر نتایج به دست آمده می توان به کسش های قیمتی خودی اشاره نمود که برای سرمایه مقدار ناچیز (۰/۹۹۰-) می باشد و نشان می دهد که تقاضای سرمایه گذاری نسبت به قیمت سرمایه نسبتاً بی کسش بوده و

از تغییر قیمت متأثر نمی‌شود، اما برای نهاده‌های دیگر میزان تأثیر بیشتری مشاهده می‌شود، به گونه‌ای که تقاضا برای کار، انرژی الکتریکی و دیگر حامل‌های انرژی به ترتیب ۰/۶۷۶، ۱/۵۸۶ و ۰/۲۷۳ درصد بر اثر تغییر یک درصدی در قیمت این نهاده‌ها کاهش می‌یابد. جدول (۵) مقادیر محاسبه‌شده برای کشش‌های قیمتی موریشیما را نشان می‌دهد.

جدول ۵. کشش جانشینی قیمتی موریشیما

M	E	L	K	MES _{ij}
۰/۲۸۲	۱/۵۸۸	۰/۷۵۹	-	K
۰/۳۶۰	۱/۶۲۱	-	۰/۷۳۱	L
-۱/۰۹۰	-	۱/۰۵۲	۰/۲۰۸	E
-	۰/۵۰۴	۱/۴۳۰	۰/۷۰۲	M

مأخذ: نتایج تحقیق.

کشش‌های جانشینی موریشیما نیز بیانگر رابطه جانشینی میان سرمایه و هر دو نهاده انرژی می‌باشند. بر اساس نتایج به دست آمده نسبت سرمایه به انرژی الکتریکی به ازای یک درصد تغییر در قیمت انرژی الکتریکی به میزان (۱/۵۸۸) درصد افزایش می‌یابد، در حالی که این نسبت به ازای تغییر یک درصدی در قیمت سرمایه به مقدار (۰/۲) درصد می‌باشد، همچنین در صورت افزایش یک درصدی قیمت انرژی الکتریکی مقدار $\frac{M}{E}$ به مقدار (۰/۵) درصد افزایش می‌یابد، در حالی که تقاضای نسبی انرژی الکتریکی و دیگر حامل‌های انرژی به تغییر در قیمت دیگر حامل‌های انرژی واکنش منفی نشان داده و در اثر تغییر یک درصدی قیمت آن نسبت تقاضای برق و دیگر حامل‌ها به میزان (۱/۰۹) درصد کاهش می‌یابد.

از آنجایی که این تحقیق داده‌های دوره بلندمدت (۱۳۸۶-۱۳۷۷) را مورد بررسی قرار می‌دهد، بنابراین در مورد جانشینی سرمایه و انرژی می‌توان گفت که در بلندمدت زمانی جانشینی سرمایه و انرژی آشکار خواهد شد که بنگاه سرمایه‌گذاری خود را با خرید ماشین‌آلات جدید و البته کار و کم‌مصرف انجام دهد. به عبارت دیگر، در صورتی که بنگاه از ظرفیت خالی برخوردار نبوده و مخارج سرمایه‌گذاری را صرف ایجاد ظرفیت‌های جدید نماید جانشینی سرمایه و انرژی در اغلب مقادیر مثبت کشش‌ها آشکار می‌شود، اما در حالتی که بنگاه ظرفیت خالی داشته باشد و مخارج سرمایه‌ای صرف تعمیر و نگهداری (سرمایه‌گذاری سر به سر)^۱ شود هزینه‌های مربوط به سرمایه و انرژی به موازات یکدیگر حرکت می‌کنند و مکمل به نظر می‌رسند. از دیگر عواملی که باعث می‌شود جانشینی سرمایه و

1. Break-Even Investment

انرژی ضعیف به نظر برسد اثر بازگشتی^۱ می‌باشد. بهبود کارایی منجر به کاهش هزینه‌های مصرف انرژی می‌شود. این افزایش رفاه ناشی از صرفه‌جویی در هزینه‌ها ممکن است موجب استفاده بیشتر از وسایل گردد. این موضوع در مجموع مصرف انرژی را افزایش خواهد داد (استیونس، ۱۳۹۰).

۶. نتیجه‌گیری

انرژی یکی از نهاده‌های مهم تولید محسوب می‌شود که همراه با سایر نهاده‌ها مانند کار و سرمایه در فرایند تولید سهیم می‌باشد. در این مقاله کشتش‌های جانشینی قیمتی میان عوامل تولید از جمله سرمایه و انرژی برای صنایع شیمیایی کشور با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ عمومی چمبرز برای ۴ نهاده تولید برآورد گردید. این نوع تابع هزینه امکان برآورد دقیق سهم‌های هزینه‌ای با استفاده از قیمت نهاده‌ها و ارزش افزوده صنعت را فراهم می‌سازد که در مطالعات دیگر از این نوع تابع هزینه استفاده نشده است، همچنین مطالعه یک بخش خاص از کل صنایع موجود در کشور بررسی عمیق‌تر را برای محقق ممکن می‌سازد. این تخصصی‌سازی به‌ویژه توجه به صنایع شیمیایی که از ارزش افزوده بسیار بالایی در بخش صنعت برخوردار و دارای تکنولوژی‌های تولید نسبتاً همگنی در کشور است در مطالعات قبلی مورد توجه قرار نگرفته است.

کشتش جانشینی به معنای درصد جانشینی یک نهاده به جای نهاده دیگر بر منحنی هم مقداری تولید است. بر اساس محاسبات انجام شده در این پژوهش سرمایه و انرژی در بخش صنایع شیمیایی در طول دوره مورد مطالعه به صورت جانشین یکدیگر عمل می‌کنند. این مطلب هم در مورد انرژی الکتریکی و هم در مورد سایر حامل‌های انرژی صادق است. البته لازم به ذکر است که مقادیر به دست آمده برای کشتش‌های جانشینی قیمتی مربوط به دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۶-۱۳۷۷) بوده، بنابراین آثار هدفمندسازی یارانه‌ها و تحولات نرخ بهره به دلیل نبود داده‌های مربوط به دوره هدفمندی در منابع آماری در دوره مورد بررسی وجود ندارد و در صورتی که این آثار لحاظ شوند ممکن است نتایج متفاوتی حاصل گردد.

مقادیر مثبت کشتش جانشینی قیمتی آلن نشان‌دهنده وجود رابطه جانشینی بین کار و سرمایه هستند. مقدار این کشتش برای سرمایه- انرژی الکتریکی (۰/۱۲۶) و برای سرمایه- سایر حامل‌های انرژی (۰/۶۹۸) به دست آمده است. همچنین کشتش‌های خودی و متقاطع جانشینی بیانگر بی‌کشتش بودن نهاده سرمایه نسبت به تغییر در قیمت انرژی الکتریکی و سایر حامل‌های انرژی می‌باشد، در حالی که حامل‌های انرژی اعم از برق و سایر حامل‌ها نسبت به تغییر یک درصدی در قیمت سرمایه واکنش نشان داده و تقاضای آنها به ترتیب به میزان (۰/۱۰۹) و (۰/۶۰۳) درصد افزایش می‌یابد، همچنین بر اساس نتایج به دست آمده کشتش‌های قیمتی موریشما برای نهاده‌های سرمایه و انرژی مثبت می‌باشند که دلالت بر افزایش نسبت

1. Rebound Effect

سرمایه بر انرژی به‌ازای افزایش در قیمت سرمایه یا انرژی دارند، بنابراین کاهش قیمت کالاهای سرمایه‌ای برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست می‌تواند به‌عنوان یک پیشنهاد سیاستی مطرح گردد.

منابع

- استیونس، پل (۱۳۹۰)، *اقتصاد انرژی*، ترجمه علی طاهری و جعفر حسینی، تهران: انتشارات دانشگاه امام صادق (ع).
- اکبریان، رضا و حمید رفیعی (۱۳۸۵)، "نخمن کشش جانشینی سرمایه و نیروی کار صنایع ایران" *فصلنامه بررسی‌های اقتصادی*، سال ۳، شماره ۴.
- باستان‌زاد، حسین (۱۳۷۶)، "برآورد کشش جزئی مستقیم و متقاطع آلن برای حامل‌های انرژی در جمهوری اسلامی ایران طی دوره (۱۳۷۵-۱۳۴۷)"، *مجله برنامه و بودجه*، شماره ۳۳.
- شریفی، علیمراد و ابوذر شاکری (۱۳۹۰)، "هدفمند کردن یارانه حامل‌های انرژی و تحلیل تقاضای پویای نهاده انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران"، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*، شماره ۳.
- شریفی، علیمراد، صمدی، سعید، احمدزاده، عزیز و آزاد خانزادی (۱۳۸۸)، "جانشینی بین نهاده انرژی با سرمایه در بخش فلزات اساسی"، *مجله تحقیقات اقتصادی*، صص ۱۵۵-۱۲۹.
- شکیبایی، علیرضا، صادقی، زین‌العابدین و حسن اعمی بنده‌قراي (۱۳۸۸)، "تأثیر واقعی کردن قیمت انرژی بر کشش‌پذیری تقاضای انرژی و برآورد کشش جانشینی در بخش صنعت در بلندمدت"، *فصلنامه جستارهای اقتصادی*، صص ۱۳۳-۱۵۵.
- زرآءنژاد، منصور و الهه انصاری (۱۳۸۶)، "اندازه‌گیری بهره‌وری سرمایه در صنایع بزرگ استان خوزستان"، *فصلنامه بررسی‌های اقتصادی*، شماره ۴.

Berndt, E. R. & D. O. Wood (1975), "Technology, Prices and the Derived Demand for Energy", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 56, PP. 259-68.

Broadstock, David C. (2008), "Non-Linear Technological Progress and the Substitutability of Energy for Capital: An Application Using the Translog Cost Function", In SEEDS 120.

Chambers, Robert G. (1988), "Applied Production Analysis, Dual Approach", Cambridge University Press.

Chichilnisky, Graciela & Heal Geoffrey (1983), "Energy-Capital Substitution: A General Equilibrium Analysis", In International Institute for Applied Systems Analysis.

Christopoulos, D. K. (2000), "The Demand for Energy in Greek Manufacturing", *Energy Economic*, Vol. 22, PP. 569-586.

Edward A. Hudson & Dale W. Jorgenson (1974), "U.S. Energy Policy and Economic Growth (1975-2000)", *Bell Journal of Economics the RAND Corporation*, Vol. 5, No. 2, PP. 461-514.

Feng, Yi (2000), "Dynamic Energy-Demand Models: A Comparison", *Energy Economic*, Vol. 22, PP. 285-279.

- Fiorito, Giancarlo** (2011), "Capital-Energy Substitution for Climate and Peak Oil Solutions? An International Comparison Using the EU-KLEMS Database", In Institute for Environmental Science and Technology, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra (Cerdanyola), Spain.
- Field, B. C. & C. Grebenstein** (1980), "Capital-Energy Substitution in U.S. Manufacturing", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 2, PP. 212-207.
- Frondel, Manuel** (2010), "Substitution Elasticity's: A Theoretical and Empirical Comparison", Discussion Paper No. 00-31 33.
- Griffin, J. & P. Gregory** (1976), "An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses", *American Economic Review*, Vol. 66, PP. 845-857.
- Koschel, Henrike** (2000), "Substitution Elasticity's between Capital, Labour, Material, Electricity and Fossil Fuels in German Producing and Service Sectors", Discussion Paper No. 00-31.
- Krishnapillai, Sooriyakumar & Henry Thompson** (2012), "Cross Section Translog Production and Elasticity of Substitution in U.S. Manufacturing Industry", *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 2, PP. 50-54.
- Mao-Lung Huang; Shu-Yi Liao & Hwei-Yann Jeng** (2006), "Substitution between Energy and Non-Energy Inputs in Taiwan's Manufacturing Sector", Department of Applied Economics.
- Mark J. Koetse Henri L. F. de Groot & Raymond J. G. M. Florax** (2006), "Capital-Energy Substitution and Shifts in Factor Demand: A Meta-Analysis", Tinbergen Institute Discussion Paper.
- Sorrell, Steve** (2008), "Energy-Capital Substitution and the Rebound Effect", St. John's College, Oxford.
- Syed, F. M.** (2000), "The Energy Demand in the Manufacturing Sector of Pakistan: Some Further Result", *Energy Economics*, Vol. 22, PP. 641-648.
- Tatom, John A.** (1979), "Energy Prices and Capital Formation", Federal Reserve Bank of ST. Lows.
- Thompson, Henry** (2006), "The Applied Theory of Energy Substitution in Production", Auburn University.
- Thompson, H., Caloghiro, Y. & A. Mourelatos** (1997), "Industrial Energy Substitution during the 1980s in the Greek Economy", *Energy Economics*, Vol. 19, PP. 476-91.
- Prywes, M.** (1986), "A Nested CES Approach to Capital-Energy Substitution", *Energy Economics*, Vol. 8, PP. 22-28.
- Uzawa, H.** (1962), "Production Functions with Constant Elasticity's of Substitution", *Review of Economic Studies*, Vol. 29, PP. 291-9.

